



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 103 13 738.6
Anmeldetag: 27. März 2003
Anmelder/Inhaber: ROBERT BOSCH GMBH,
Stuttgart/DE
Bezeichnung: Kapazitiver mikromechanischer Drucksensor
IPC: G 01 L 9/12

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 16. Oktober 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident

Im Auftrag

Faust

2V332460531

14.03.03 Gi

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

Kapazitiver mikromechanischer Drucksensor

Stand der Technik

Die nachfolgende Erfindung beschreibt einen mikromechanisch herstellbaren kapazitiven Drucksensor, der aus zwei unterschiedlich prozessierten Komponenten besteht, wobei die erste Komponente aus einem Halbleitermaterial und die zweite Komponente wenigstens teilweise aus Metall besteht.

Zur Erfassung eines Druckes sind Sensoren unterschiedlicher Bauart denkbar. Besonders in der mikromechanischen Bauweise haben sich in den letzten Jahren verschiedene Messprinzipien herausgebildet. Eine gängige Methode der mikromechanischen Druckmessung stellt die Messung von Kapazitätsänderungen in einem als Kondensator ausgebildeten mikromechanischen Drucksensor dar. Ein kapazitiver Drucksensor, der in der mikromechanischen Bauweise hergestellt werden kann, ist beispielsweise aus der DE 101 21394 A1 bekannt. Dabei wird der mikromechanische Drucksensor durch ein Halbleiterbauelement realisiert, wobei der Drucksensor aus einer Membranelektrode, einer Bodenelektrode und einem zwischen den beiden Elektroden befindlichen Hohlraum besteht. Durch eine Druckdifferenz zwischen dem im Hohlraum herrschenden Druck und dem Außendruck kommt es zu einer Verbiegung der Membran und somit zu einer Veränderung des Abstands zwischen der elektrisch leitenden Membran und der dieser Membran gegenüberliegenden Kondensatorplatten.

Ein ebenfalls als Drucksensor verwendbares mikromechanisches Bauelemente ist aus der DE 100 24 266 A1 bekannt. Dabei wird auf ein Substrat aus einem Halbleitermaterial epitaktisch eine Funktionsschicht ebenfalls aus Halbleitermaterial aufgebracht, wobei teilweise zwischen dem Substrat und der Funktionsschicht ein Hohlraum vorgesehen ist, der einen Membranbereich der Funktionsschicht definiert. Mit der Funktionsschicht, dem Hohlraum und einer im Substrat erzeugten Elektrode kann anschließend eine Kapazitätsmessung bei unterschiedlichen äußeren Drücken durchgeführt werden.

Vorteile der Erfindung


Die Erfindung beschreibt ein Herstellungsverfahren eines mikromechanischen Drucksensors bzw. einen mit diesem Herstellungsverfahren hergestellten mikromechanischen Drucksensor. Die Druckmessung in dem aus wenigstens zwei Komponenten bestehenden Drucksensor erfolgt über eine Kapazitätsmessung eines Kondensators, wobei der Drucksensor wenigstens eine erste Elektrode und eine erste Membran aufweist. Durch die Bewegung der Membran wird eine Kapazitätsänderung des Kondensator hervorgerufen, welche in der Kapazitätsmessung als Maß für die zu messende Druckgröße verwendet werden kann. Der Kern der Erfindung besteht darin, dass die erste und die zweite Komponente des Drucksensors durch separate Herstellungsprozesse prozessiert werden, bevor sie zusammengesetzt werden. Dabei ist besonders vorgesehen, dass die erste Komponente wenigstens ein Halbleitermaterial und die erste Elektrode aufweist, wohingegen die zweite Komponente wenigstens teilweise aus Metall besteht und wenigstens die erste Membran enthält.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird die Kapazitätsmessung des Drucksensors mittels einer zweiten Elektrode eines Kondensators durchgeführt. Dabei kann die zweite Elektrode Teil der ersten Komponente oder der zweiten Komponenten sein. In einer besonderen Ausgestaltung des Drucksensors ist weiterhin vorgesehen, dass die zweite Elektrode in der zweiten Komponenten durch die erste Membran realisiert wird.


Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass die zweite Komponente eine Metallmembran aufweist. Durch diese Metallmembran kann gegenüber den herkömmlichen Drucksensoren mit Halbleitermembranen eine erhöhte Steifigkeit der Membran und damit ein höherer messbarer Druckbereich bei kompakter Bauweise erreicht werden. Darüber hinaus ist in einer besonderen Ausgestaltungsform der Erfindung vorgesehen, die Metallmembran als Stahlmembran zu realisieren.

Vorteilhafterweise weist die erste Komponente wenigstens einen Teil einer Schaltung zur Auswertung der Kapazitätsmessung auf, wobei als Teil der Schaltung auch einzelne Schaltelemente angesehen werden können. Dabei ist insbesondere vorgesehen, dass sich die Schaltung auf der der ersten Elektrode gegenüberliegenden Seite der ersten Komponenten befindet. Weiterhin ist vorgesehen, den Teil der Schaltung auf bzw. in der ersten Komponenten durch eine elektrische Verbindungen, die innerhalb der ersten Komponenten verläuft, mit der ersten Elektrode zu kontaktieren.

In einer Weiterbildung der Erfindung werden die erste und die zweite Komponente durch ein nicht leitfähiges Material miteinander verbunden. Durch dieses nicht leitfähige Material kann erreicht werden, dass die Kombination aus erster und zweiter Komponente fest zusammenhält, ohne einen elektrischen Kontakt zwischen den beiden Komponenten hervorzurufen.



In einer besonderen Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass die zweite Elektrode in der ersten Komponente bezüglich der ersten Elektrode beweglich ausgestaltet ist. Dabei ist insbesondere vorgesehen, dass ein elektrischer Kontakt von der zweiten Elektrode durch die erste Komponente zur Schaltung geleitet wird. Vorteilhafterweise folgt die Bewegung der zweiten Elektrode der Bewegung der Membran, wobei insbesondere vorgesehen ist, dass sich die zweite Elektrode während der Bewegung nicht verbiegt. Dies hat den Vorteil, dass die Bewegung der Membran eine parallele Annäherung der zweiten Elektrode an die erste Elektrode erzeugt.



Weitere Vorteile der Erfindung insbesondere Vorteile, die das Herstellungsverfahren des kapazitiven mikromechanischen Drucksensors betreffen, ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen bzw. aus den abhängigen Patentansprüchen.

Zeichnungen

Die Figuren 1 bis 4 stellen unterschiedliche Ausführungsbeispiele dar, die durch die vorliegende Erfindung realisiert werden können.

Ausführungsbeispiele

Die Erfindung betrifft einen kapazitiven mikromechanischen Drucksensor bzw. ein Verfahren zur Herstellung eines kapazitiven mikromechanischen Drucksensors. Der Drucksensor besteht dabei aus wenigstens zwei Komponenten, wobei eine erste Komponente wenigstens ein Halbleitermaterial und eine zweite Komponente wenigstens teilweise ein Metall aufweist. Der Kern der Erfindung besteht nun darin, dass die erste und die zweite Komponente in einem ersten Schritt mittels unterschiedlicher Herstellungsverfahren separat prozessiert werden und anschließend in einem zweiten Schritt zum Drucksensor kombiniert werden.

In einem bevorzugten Ausführungsbeispiel wird als Grundelement ein Stahlsubstrat als zweite Komponente 100 verwendet. Dieses Stahlsubstrat weist nach einer entsprechenden Herstellung in einem Bereich eine dünne Stahlmembran 170 auf, wie beispielsweise in der Figur 1b in einem Querschnitt durch das Stahlsubstrat 100 dargestellt ist. Auf diese Stahlmembran 170 wirkt bei einer Druckmessung der äußere Druck 180, der ein Durchbiegen der Stahlmembran 170 bewirkt.

Als erste Komponente wird in dem bevorzugten Ausführungsbeispiel ein Halbleitersubstrat 120 derart hergestellt, dass auf der Unterseite des Substrats 120 ein dotierter Bereich als Gegenelektrode 130 wirken kann. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel ist vorgesehen, dass als Halbleitersubstrat 120 Silizium verwendet wird, wobei auch jedes andere halbleitende Material verwendet werden kann, das mit den hier beschriebenen Verfahren bearbeitet werden kann. Auf der der Gegenelektrode 130 gegenüberliegenden Seite ist in einem weiteren Ausführungsbeispiel wenigstens ein Teil der Schaltung 150 zur Auswertung der durch den Drucksensor erzeugten Messgrößen untergebracht. Dabei kann es sich neben der kompletten Auswerteschaltung auch um einzelne Schaltelemente handeln. Über eine Kontaktdurchführung (Via) 140 wird die als Kondensatorplatte ausgebildete Gegenelektrode 130 mit den Schaltelementen bzw. der Auswerteschaltung 150 auf der Substratoberseite verbunden. Zur kompletten Auswertung der Messsignale in der Auswerteschaltung 150 ist eine elektrische Verbindung zwischen der Schaltung 150 und der Stahlmembran 170 nötig. Diese Verbindung kann entweder über Bondverbindungen oder Metallkontakte hergestellt werden, wie sie in Figur 1a als Block 160 dargestellt werden. Über eine weitere Bondverbindung bzw. einen weiteren Metallkontakt kann anschließend das ausgewertete Messsignal zur weiteren Verarbeitung genutzt werden.

Ein einfaches Ausführungsbeispiel zur Herstellung eines kapazitiven mikromechanischen Drucksensors gemäß der vorliegenden Erfindung besteht darin, dass die erste Komponente aus

einer flachen runden Platte aus Silizium 120 mit einer dotierten Unterseite 130, einer Kontaktdurchführung 140 und einer Oberseite mit Zuleitungen, Metallkontakte 160 und eventuell mit einer Auswerteschaltung 150 besteht und diese erste Komponente zusammen mit dem als Stahlsubstrat ausgebildeten zweiten Komponenten 100 zu dem kapazitiven mikromechanischen Drucksensor kombiniert werden. Die Kombination erfolgt dabei durch das Aufbringen der ersten Komponente 120 auf die zweite Komponente 100, wobei vorgesehen ist, dass die beiden Komponenten beispielsweise durch strukturierte Sealglas-Elemente 110 elektrisch voneinander isoliert werden. Eine weitere Funktion der Sealglas-Elemente 110 besteht darin, dass mit diesen Sealglas-Elementen 110 ein definierter Abstand zwischen dem als Kondensatorelektrode nutzbaren Stahlsubstrats und der Gegenelektrode 130 sichergestellt werden kann. Das Sealglas enthält dabei Spacer (Glaskugeln) für eine definierte Einstellung des Abstandes zwischen den beiden Elektroden. Die Sealglas-Elemente 110 müssen dabei so positioniert werden, dass die Auslenkung der Stahlmembran 170 nicht behindert wird. Gleichzeitig soll sichergestellt sein, dass die Siliziumsplatte 120 nicht durchgebogen wird. Der Siliziumrand muss daher auf dem idealerweise unbelasteten Rand des Stahlsubstrats 100 sitzen. In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung kann die Stahlmembran 170, die Sealglas-Elemente 110 sowie das Halbleitersubstrat 120 einen Hohlraum 200 mit einem definierten Gasdruck einschließen. Dies kann beispielsweise dadurch erreicht werden, dass mit einem Sealglas-Element 110 auf dem Stahlsubstrat 100 die Stahlmembran 170 komplett umschlossen wird und mit einem entsprechenden dichtenden Kleber die erste und die zweite Komponente verbunden wird, so dass der entstandene Hohlraum 200 nach außen abgeschlossen wird.

Wird der hergestellte kapazitive Drucksensor einem äußeren Druck 180 ausgesetzt, d. h. wirkt der äußere Druck 180 auf die Stahlmembran 170, so verbiegt sich die Stahlmembran 170 entsprechend der Druckverhältnisse von äußerem Druck 180 zum Druck im Hohlraum. Durch das Durchbiegen der Stahlmembran 170 kann somit im Drucksensor eine Kapazitätsänderung gemessen werden, die proportional zum anliegenden äußeren Druck 180 ein Messsignal liefert.

Ein weiteres Ausführungsbeispiel besteht darin, dass das Substrat 120 neben der Gegenelektrode 130 im Substrat strukturierte Abstandshalter aufweist, wie es beispielsweise in Figur 2 im Bereich 210 angedeutet ist. Durch diese Abstandshalter wird ein Hohlraum 200 erzeugt, der mit einem Referenzdruck ausgestattet sein kann. Weiterhin kann am Rand der Kondensatorplatten im Halbleitersubstrat eine Aufnahmerille für das Sealglas strukturiert werden. Diese kann bedeutend tiefer sein, als der Plattenabstand zwischen den beiden Elektroden, um größere Mengen Sealglas aufzunehmen. Der Abstand ist bei diesem Ausführungsbeispiel nicht durch die Spacer (Sealglas-Glaskugeln 110), sondern durch die Struktur 210 des Substrats 120 gegeben. Die Aufnahmerillen sind seitlich offen, sodass

überschüssiges Sealglas an Rand gedrückt wird und seitlich entweichen kann. Die Herstellung der Struktur 210 kann mit herkömmlichen mikromechanischen Prozessen erfolgen. Die Fertigung der Aufnahmerillen und der Abstandshalter erfolgt beispielsweise mittels Hochratenätzen (Trenchen) von der Rückseite. In einem separaten Prozess kann die Metallisierung und die Auswerteschaltung auf der Vorderseite strukturiert werden.

Während bei den bisher vorgestellten und in den Figuren 1 und 2 dargestellten Ausführungsbeispielen eine Elektrode des Plattenkondensatoren zur kapazitiven Druckmessung durch das Stahlsubstrat 100 und die zweite Elektrode als Gegenelektrode 130 im Substrat 120 ausgeführt wurden, besteht in weiteren Ausführungsbeispielen die Möglichkeit, beide Elektroden des Plattenkondensatoren im Substrat 120 unterzubringen. So kann beispielsweise neben der Gegenelektrode 130 die Elektrode 330 derart im Substrat 120 ausgebildet sein, dass die Elektrode 330 an mikrostrukturierten Federn 310 gegenüber der Gegenelektrode 130 aufgehängt ist. Eine mögliche Ausgestaltung dieser Aufhängung 310 ist in Figur 3a und 3b dargestellt. Zur Übertragung der Positionsänderungen der Stahlmembran 170 auf die Elektrode 330 ist in diesem besonderen Ausführungsbeispiel eine Stempel vorgesehen, wie er in dem Bereich 300 in Figur 3a dargestellt ist. Bei einem Durchbiegen der Stahlmembran 170 wird die Positionsänderung direkt über den Stempel 300 auf die Elektrode 330 übertragen, sodass sich eine Kapazitätsänderung im Drucksensor nachweisen lässt. Die Federn 310 sind mit einer geringen Vorspannung ausgestattet, sodass der Stempel 300 auf die Stahlmembran 170 gedrückt wird. Dies erlaubt bei Abnahme des äußeren Drucks 180 eine Aufrechterhaltung des Kontakts des Stempels 300 zur Stahlmembran 170. Die Vorspannung kann dabei über das Verhältnis der äußeren Abstandshalter zur Stempellänge in der Mitte eingestellt werden. Zur Befestigung des Substrats 120 mit Sealglas sind wiederum Aufnahmerillen am Rand des Substrats 120 vorgesehen. Dieses Ausführungsbeispiel hat bei entsprechender Dimensionierung den Vorteil, dass durch die Auslenkung der Membranmitte die gesamte Elektrode 330 parallel verschoben wird. Die Kapazitätsänderung ist damit größer als bei der Messung mittels einer Stahlmembran 170 als Elektrode, bei der die Ränder immer in der Ursprungsposition bleiben. Zur Kontaktierung der Elektroden 330 mit der Auswerteschaltung 150 ist im vorliegenden Ausführungsbeispiel eine separate elektrische Verbindung 340 durch das Substrat vorgesehen.

Zur Darstellung einer möglichen Ausführung der Aufhängung der Elektrode 330 ist in Figur 3b eine Aufsicht des Querschnitts 320 durch die Figur 3a dargestellt. In dieser Aufsicht ist die Elektrode 330 mit dem darunter liegenden Stempel 300 und den Aufhängefedern 310 zu sehen.

In Figur 4 ist ein weiteres Ausführungsbeispiel dargestellt, wie die vorliegende Erfindungen ausgestaltet sein kann. Dabei wird in dem Halbleitersubstrat 120 eine zweite starre Elektrode

410 erzeugt. Diese zweite Elektrode 410 befindet sich unmittelbar gegenüber der Gegenelektrode 130 und schließt den Hohlraum bzw. die Kaverne 430 ein. Dabei wird die zweite Elektrode 410 über eine separate Kontaktierung 420 durch das Substrat 120 hindurch mit der Auswerteschaltung 150 auf der Oberseite des Substrats 120 verbunden. Die so strukturierte erste Komponente 120 wird beispielsweise mittels Sealglas auf die Stahlmembran bzw. auf das Stahlsubstrat 100 gebondet. Eine Auslenkung der Stahlmembran 170 verbiegt damit auch die Siliziummembran 410 während die bedeutend dickere Gegenelektrode 130 im wesentlichen eben bleibt. Die Annäherung der Siliziummembran 410 an die Gegenelektrode 130 bewirkt wiederum eine Kapazitätsänderung.

In einem weiteren Ausführungsbeispiel wird die Gegenelektrode 130 nicht als dotierter Bereich des Halbleitersubstrats 120 erzeugt, sondern separat durch eine leitfähige Schicht aufgebracht. Ebenso ist denkbar, dass lediglich die Membran 170 der zweiten Komponenten wenigstens teilweise aus Stahl besteht, wobei das übrige Material der zweiten Komponenten aus einem halbleitenden oder nichtleitenden Material bestehen kann.

14.03.03 Gi

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

Ansprüche

1. Kapazitiver mikromechanischer Drucksensor, wobei vorgesehen ist, dass

- der Drucksensor wenigstens
 - eine erste Komponente (120) und
 - eine zweite Komponente (100)umfasst, und
- die Kapazitätsmessung mittels wenigstens
 - einer ersten Elektrode (130) und
 - der Bewegung einer ersten Membran (170)erfolgt, und
- die erste Komponente (120) wenigstens
 - ein Halbleitermaterial und
 - die erste Elektrode (130)aufweist und
- die zweite Komponente (100) wenigstens die erste Membran (170) aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass
- die zweite Komponente (100) wenigstens teilweise aus Metall besteht und
- die erste und die zweite Komponente separat prozessiert sind.

2. Kapazitiver mikromechanischer Drucksensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Kapazitätsmessung mittels einer zweiten Elektrode (100, 330, 410) erfolgt, wobei vorgesehen ist, dass

- die erste Komponente (120) oder
- die zweite Komponente (100)

die zweite Elektrode (100, 330, 410) umfasst,

wobei insbesondere vorgesehen ist, dass die zweite Elektrode (100, 330, 410) in der zweiten Komponente (100) durch die erste Membran (170) realisiert wird.

3. Kapazitiver mikromechanischer Drucksensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Komponente (100) eine Metallmembran (170), insbesondere eine Stahlmembran, aufweist.

4. Kapazitiver mikromechanischer Drucksensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Komponente (120) wenigstens einen Teil einer Schaltung (150) zur Auswertung der Kapazitätsmessung aufweist, wobei insbesondere vorgesehen ist, dass

- sich die Schaltung (150) auf der der ersten Elektrode (130) gegenüberliegenden Seite der Komponenten (120) befindet, und
- eine Kontaktierung der ersten Elektrode (130) mit der Schaltung (150) durch eine elektrische Verbindung (140, 340, 420) innerhalb der Komponenten erfolgt.

5. Kapazitiver mikromechanischer Drucksensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die erste und die zweite Komponente durch ein nicht-leitfähiges Material (110, 400) miteinander verbunden sind.

6. Kapazitiver mikromechanischer Drucksensor nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Elektrode (330) in der ersten Komponenten (120) bezüglich der ersten Elektrode (130) derart beweglich ausgestaltet ist, dass eine Bewegung der zweiten Elektrode (330) in Abhängigkeit von der Bewegung der ersten Membran (170) erfolgt, wobei insbesondere vorgesehen ist, dass sich der Abstand zwischen der ersten und der zweiten Elektrode linear mit der Bewegung der ersten Membran (170) ändert.

7. Verfahren zur Herstellung eines kapazitiven mikromechanischen Drucksensors, wobei vorgesehen ist, dass

- der Drucksensor wenigstens
 - eine erste Komponente (120) und
 - eine zweite Komponente (100)umfasst, und
- die Kapazitätsmessung mittels wenigstens
 - einer ersten Elektrode (130) und
 - einer ersten Membran (170)erfolgt, und
- die erste Komponente (120) wenigstens
 - ein Halbleitermaterial und
 - die erste Elektrode (130)

aufweist und

- die zweite Komponente (100) wenigstens die erste Membran (170) aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass
- die zweite Komponente (100) wenigstens teilweise aus Metall besteht und
- die erste und die zweite Komponente unterschiedlich prozessiert werden und
- der Drucksensor durch ein Zusammensetzen der ersten und der zweiten Komponente hergestellt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass zur Kapazitätsmessung eine zweite Elektrode (100, 330, 410) in

- der ersten Komponente (120) oder
- der zweiten Komponente (100)

erzeugt wird,

wobei insbesondere vorgesehen ist, dass die zweite Elektrode (100, 330, 410) in der zweiten Komponenten (100) durch die erste Membran (170) realisiert wird.

9. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass in oder auf der ersten Komponenten (120) wenigstens ein Teil einer Schaltung (150) zur Auswertung der Kapazitätsmessung erzeugt wird, wobei insbesondere vorgesehen ist, dass

- die Schaltung (150) auf der der ersten Elektrode (130) gegenüberliegenden Seite der Komponenten hergestellt wird, und
- eine Kontaktierung der ersten Elektrode (130) mit der Schaltung (150) durch eine elektrische Verbindung (140, 340, 420) innerhalb der Komponenten erfolgt.

10. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die erste und die zweite Komponente durch ein nicht-leitfähiges Material (110, 400) miteinander verbunden werden.

11. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Elektrode (330) in der ersten Komponenten (120) bezüglich der ersten Elektrode (130) derart beweglich ausgestaltet ist, dass eine Bewegung der zweiten Elektrode (330) in Abhängigkeit von der Bewegung der ersten Membran (170) erfolgt, wobei insbesondere vorgesehen ist, dass sich der Abstand zwischen der ersten und der zweiten Elektrode linear mit der Bewegung der ersten Membran (170) ändert.

14.03.03 Gi/Kei

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

Kapazitiver mikromechanischer Drucksensor

Zusammenfassung

Die Erfindung beschreibt ein Herstellungsverfahren eines mikromechanischen Drucksensors bzw. einen mit diesem Herstellungsverfahren hergestellten mikromechanischen Drucksensor. Die Druckmessung in dem aus wenigstens zwei Komponenten bestehenden Drucksensor erfolgt über eine Kapazitätsmessung eines Kondensators, wobei der Drucksensor wenigstens eine erste Elektrode und eine erste Membran aufweist. Durch die Bewegung der Membran wird eine Kapazitätsänderung des Kondensators hervorgerufen, welche in der Kapazitätsmessung als Maß für die zu messende Druckgröße verwendet werden kann. Der Kern der Erfindung besteht darin, dass die erste und die zweite Komponente des Drucksensors durch separate Herstellungsprozesse prozessiert werden, bevor sie zusammengesetzt werden. Dabei ist besonders vorgesehen, dass die erste Komponente wenigstens ein Halbleitermaterial und die erste Elektrode aufweist, wohingegen die zweite Komponente wenigstens teilweise aus Metall besteht und wenigstens die erste Membran enthält.

1 / 2

Fig. 1a

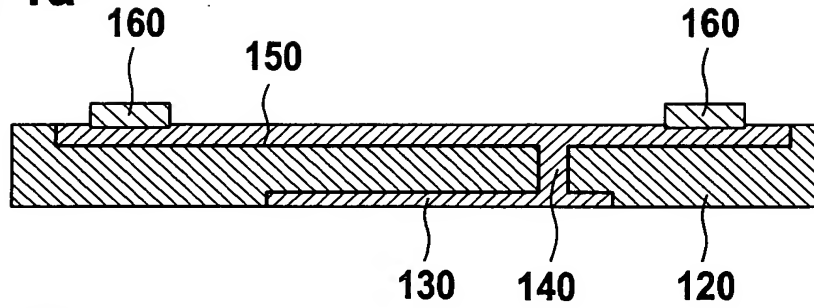


Fig. 1b

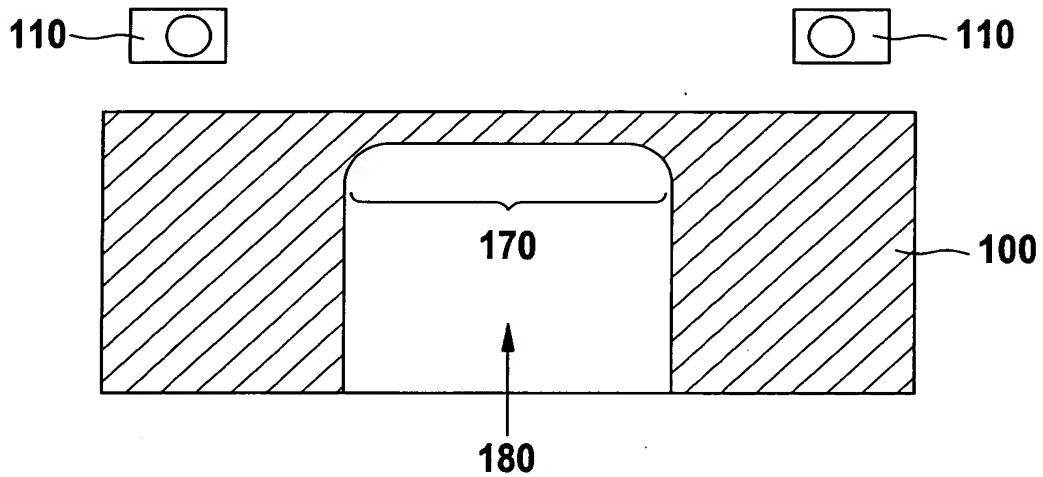


Fig. 2

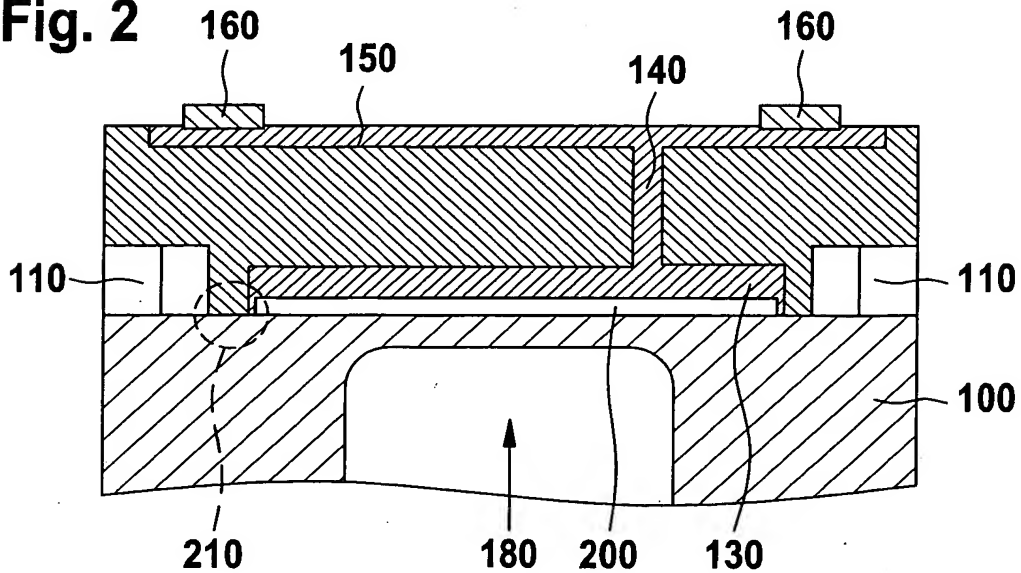


Fig. 3a

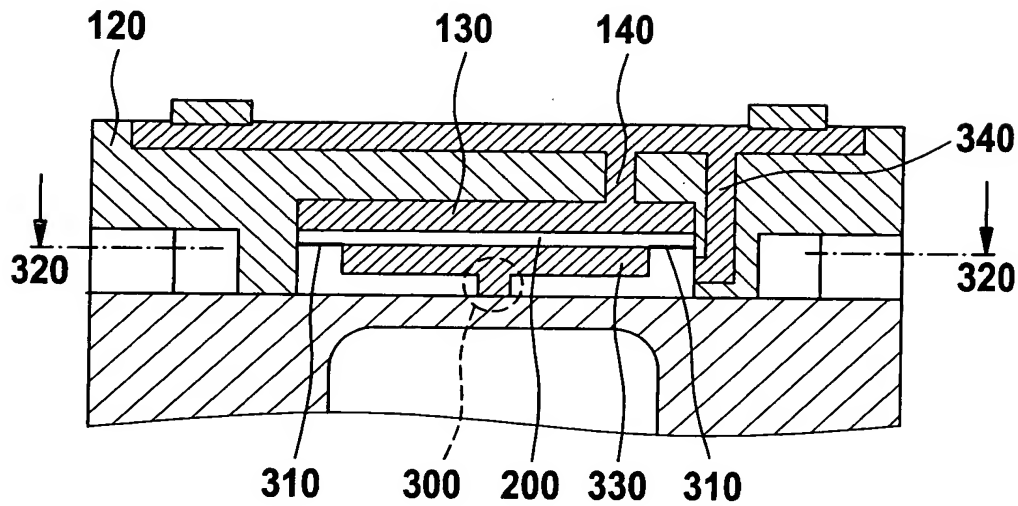


Fig. 3b

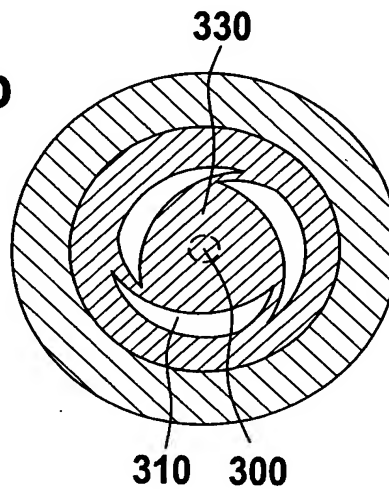


Fig. 4

